

СКОРОСТНАЯ РЕКУПЕРАТИВНАЯ ГОРЕЛКА ГСР-150

Лошкарев Н.Б., Мухамадиева А.Х.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

Статья посвящена разработанной в ОАО «ВНИИМТ» скоростной рекуперативной горелке ГСР-150. Приведены общие сведения о рекуперативных горелках, общие характеристики объекта, и принцип ее работы.

Ключевые слова: рекуперативная горелка, дымовые газы, температура, эффективность, расход, топливо.

This article was presented to recuperative burner developed at ОАО «ВНИИМТ». Provides an overview of recuperative burners, general characteristics of object, principle of operation and the picture of burner.

Keywords: recuperative burner, flue gases, temperature, efficiency, consumption, fuel.

При эксплуатации промышленных печей важной задачей является сокращение потерь энергии. В большинстве работающих печей с уходящими газами теряется более 50 % потенциала тепловой энергии (рабочая температура процесса доходит до 1300 °С и более). Поэтому потенциал энергосбережения в данном случае (высокотемпературное горение) является существенным, а использование этого потенциала позволяет сократить издержки промышленных предприятий.

Рекуперативные и регенеративные горелки были разработаны в целях использования тепла дымовых газов для подогрева воздуха горения в непосредственной близости от агрегата, без потерь тепловой энергии при транспортировке горячих газов по трубопроводам.

Рекуператор представляет собой теплообменник, обеспечивающий подогрев поступающего воздуха горения за счет тепловой энергии отходящих газов, и позволяет обеспечить экономию около 30 % энергии по сравнению с системой, использующей холодный воздух горения. Однако рекуператор, как правило, не способен обеспечить подогрев воздуха до температуры, превышающей 550–600 °С. Рекуперативные горелки могут использоваться при высокой рабочей температуре технологического процесса (700–1100 °С).

Рекуперативные горелки позволяют сократить затраты на строительство печи, снизить удельный расход природного газа, уменьшить текущие затраты при эксплуатации печи. Такие горелки имеют высокоэффективный теплообменник-рекуператор из металла или керамики, в котором воздух, идущий на горение, нагревается до 750 °С. Коэффициент использования топлива при этом достигает 85 %.

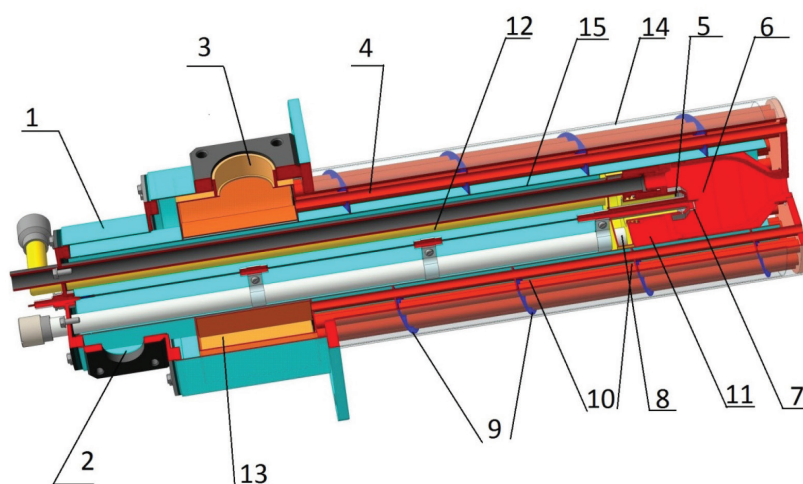
Важным ограничением для современных технологий рекуперативных/регенеративных горелок является противоречие между требованиями энергоэффективности и сокращения выбросов вредных веществ в атмосферу. Объемы образования NO_x при использовании топлив, не содержащих азот, зависят, главным образом, от температуры сжигания, концентрации

кислорода, а также времени пребывания газов в зоне горения. При сжигании в традиционном пламени результатом подогрева воздуха до значительных температур является высокая пиковая температура пламени, которая, в сочетании со значительным временем пребывания, приводит к существенному увеличению интенсивности образования NO_x .

В ОАО «ВНИИМТ» разработана новая, более эффективная, по сравнению с существующими, конструкция скоростной рекуперативной горелки, которая может работать как в аналоговом, так и в импульсном режиме автоматического управления нагревом металла.

Воздух, идущий на горение, подогревается во встроенном в горелку рекуператоре, продуктами сгорания, удаляемыми из рабочего пространства печи. Как и в большинстве современных рекуперативных горелок, продукты сгорания просасываются через теплообменник горелки с помощью эжектора. При этом используют вентиляторный воздух от того же вентилятора, который подает воздух на горение.

Горелка (рисунок) содержит воздушный коллектор 1 с патрубками подвода воздуха 2 и отвода продуктов сгорания 3, трубчатый теплообменник 4, газовое сопло 5, керамическую камеру сгорания 6, электрод розжига и контроля пламени 7, коллектор подвода газа 8. Трубы теплообменника проходят сквозь винтовую перегородку 9. Внутри теплообменных труб 4, по которым проходят продукты сгорания, вставлены турбулизирующие кольца 10. Для предотвращения перегрева внутреннего пространства горелки камера сгорания отделена от этого пространства стенкой 11 из керамического огнеупорного волокна. Температурные расширения, возникающие при разогреве камеры сгорания 6 компенсируются мягкой огнеупорной стенкой.



Горелка скоростная рекуперативная ГСП-150:

1 – коллектор воздушный; 2 – патрубок подвода холодного воздуха; 3 – патрубок отвода продуктов сгорания; 4 – трубки теплообменника; 5 – газовое сопло; 6 – керамическая камера сгорания; 7 – электрод розжига и контроля пламени; 8 – коллектор подвода газа; 9 – винтовая перегородка; 10 – турбулизирующие кольца; 11 – разделительная стенка; 12 – газовый патрубок; 13 – сборный коллектор дымовых газов; 14 – наружная труба теплообменника; 15 – внутренняя труба теплообменника

Принцип работы скоростной рекуперативной горелки (скорость истечения продуктов сгорания на сопле свыше 150 м/с) основан на двухстадийном сжигании топлива. На первой стадии в камеру сгорания 6 подается 100 % топлива и около 40 % воздуха, необходимого для горения, поэтому топливо здесь сгорает с недостатком кислорода при сравнительно низких температурах несмотря на значительный подогрев воздуха. Недостаток кислорода и низкие температуры на первой стадии сжигания топлива затрудняют образование в камере сгорания оксида азота. Стабилизатором горения на первой стадии сжигания топлива служат разогретые стенки камеры сгорания. Остальная часть топлива сжигается на второй стадии в струе горячих продуктов сгорания, выходящих из сопла камеры сгорания. При этом воздух на дожигание топлива подается через кольцевой зазор между соплом камеры сгорания и торцевой стенкой горелки. Таким образом, горячая струя, содержащая несгоревшее топливо, распространяется в окружении потока воздуха и в присутствии продуктов сгорания, что обеспечивает полное дожигание топлива при сравнительно низких температурах, вследствие чего уменьшается образование оксидов азота NO_x на второй стадии горения. Кроме того, реализованный в конструкции горелки двухстадийный способ сжигания топлива позволяет устанавливать горелку на печи без горелочного камня или иных устройств, обеспечивающих стабилизацию горения.

Примененные в конструкции горелки технические решения позволяют существенно увеличить количество теплоты, отбираемой у дымовых газов и передачу ее воздуху, идущему на горение, что, соответственно, приводит к повышению температуры подогрева воздуха и снижению расхода топлива на печи в целом.

Характеристики горелки, полученные в результате сертификационных испытаний, приведены в таблице.

Техническая характеристика горелки ГСР-150

Показатель	Ед. измерения	Величина
Топливо		Природный газ
Теплота сгорания	кДж/м ³	34000...37000
Давление газа	кПа	6,5
Расход газа, тах	м ³ /ч	16
Тепловая мощность, номинальная	кВт	150
Максимальная температура применения	°C	1000
Воздух		
Давление воздуха, тах	кПа	8
Расход воздуха на горение	м ³ /ч	150
Расход воздуха на эжекцию	м ³ /ч	90
Коэффициент регулирования мощности		6
Температура подогрева воздуха при температуре в печи		
900 °C	°C	650...670
1000 °C		730
Температура отходящих газов (после эжектора)	°C	150...180
Диапазон регулирования коэффициента избытка воздуха		0,8...5
Содержание вредных веществ в продуктах сгорания, не более, мг/м ³ :		
CO		0,0272
NO _x		0,2325

Разработанная ОАО «ВНИИМТ» скоростная рекуперативная горелка имеет существенные преимущества перед известными рекуперативными горелками. В первую очередь, это более высокая температура подогрева воздуха. В известных горелках иностранного производства она примерно на 450...500 °С, ниже, чем температура в рабочем пространстве печи, а в горелке ГСР-150 разница между температурой печи и температурой подогрева воздуха не превышает 270 °С.

Эффективность рекуперативной горелки можно оценить, используя понятие КПД (η_r) рекуператора. При этом η_r рекуператора может быть найден как соотношение между количеством теплоты, полученной воздухом в рекуператоре, и количеством теплоты, содержащейся в продуктах сгорания, входящих в рекуператор, т.е.

$$\eta_r = \frac{BL_\alpha(C''_B t''_B - C'_B t'_B)}{BV_\alpha C_{\text{пр}} t_{\text{пр}}} 100 \%,$$

где B – расход топлива через горелку, м³/с; L_α – действительное количество воздуха, подаваемое для сжигания единицы топлива, м³/м³; C''_B – теплоемкость воздуха при температуре его подогрева в рекуператоре, кДж/м³·К; t''_B – температура подогрева воздуха в рекуператоре, °С; V_α – объем продуктов сгорания, образующихся при сжигании единицы топлива, м³/м³; $C_{\text{пр}}$ – теплоемкость продуктов сгорания на входе в рекуператор, кДж/м³·К; $t_{\text{пр}}$ – температура продуктов сгорания на входе в рекуператор, °С.

Расчет η_r для известных рекуперативных горелок, на основании данных рекламных проспектов о температуре подогрева воздуха и температуре продуктов сгорания при $\alpha = 1,1$, показал, что эта величина составляет

$$\eta_r = \frac{9,99(1,32 \cdot 420 - 1,3 \cdot 20)}{11 \cdot 1,5 \cdot 1000 \cdot 0,8} 100 \% = 40 \, \%.$$

Для горелки ГСР-150 при температуре подогрева воздуха 730 °С, температуре в печи 1000 °С и коэффициенте расхода воздуха 1,15

$$\eta_r = \frac{10,45(1,4 \cdot 730 - 1,3 \cdot 40)}{11,5 \cdot 1,5 \cdot 1000} 100 \% = 60 \, \%.$$

Таким образом, коэффициент полезного действия горелки ГСР-150 на 20 % выше, чем у известных рекуперативных горелок.

Эффективность применения рекуперативной горелки можно оценить и по коэффициенту использования тепла для всей печи, оборудованной этими горелками. В данном случае $\eta_{\text{ит}}$ может быть рассчитан по формуле:

$$\eta_{\text{ит}} = \left(1 - \frac{V_\alpha \cdot C'_{\text{пр}} \cdot t'_{\text{пр}}}{Q_{\text{н}}^p + L_\alpha (C''_B t''_B - C'_B t'_B)} \right) 100 \%,$$

где $C'_{\text{пр}}$ – теплоемкость продуктов сгорания после горелки, кДж/м³·К; $t'_{\text{пр}}$ – температура продуктов сгорания после горелки, °С.

Тогда для известных горелок с учетом температуры продуктов сгорания после горелки 550 °С при их температуре на входе в горелку 1000 °С

$$\eta_{\text{ит}} = \left(1 - \frac{11 \cdot 1,45 \cdot 640}{34332 + 9,99(1,32 \cdot 420 - 1,3 \cdot 20)0,8} \right) 100 \% = 74,2 \ \%.$$

Для горелки ГСР-150 при температуре дыма после горелки 400 °С

$$\eta_{\text{ит}} = \left(1 - \frac{11,5 \cdot 1,5 \cdot 400}{34332 + 10,45(1,4 \cdot 730 - 1,3 \cdot 40)} \right) 100 \% = 84 \ \%.$$

Из этих расчетов следует, что потери теплоты печью при применении горелок ГСР-150 более чем на 10 % ниже, чем при использовании аналогичных известных горелок. Это означает, что горелки ГСР-150, установленные на печи, позволят экономить на 10 % больше топлива по сравнению с высокоэффективными рекуперативными горелками, применяемыми в настоящее время.

Кроме того, сравнительно низкая температура продуктов сгорания после теплообменника, обусловленная высокой температурой подогрева воздуха, позволяет снизить в горелках ГСР-150 расход воздуха на эжекцию продуктов сгорания, поскольку отпадает необходимость в значительном разбавлении продуктов сгорания воздухом для снижения их температуры при дальнейшей транспортировке по металлическим дымопроводам. Соотношение между расходом воздуха на эжекцию и горение в горелке ГСР-150 – 0,9, тогда как в других рекуперативных горелках – 1,7...2, что требует дополнительных энергетических затрат на привод вентилятора, а это снижает общую эффективность применения рекуперативных горелок.

При всех перечисленных достоинствах горелка ГСР-150 имеет примерно такие же габаритные размеры как у аналогов, но оказывается существенно дешевле.